

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**



①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

①① N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

2 777 116

②① N° d'enregistrement national : 98 04192

⑤① Int Cl<sup>6</sup> : H 01 L 31/0328, H 01 L 31/04

⑫

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

①② Date de dépôt : 03.04.98.

①③ Priorité :

①④ Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 08.10.99 Bulletin 99/40.

①⑤ Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du  
présent fascicule*

①⑥ Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

⑦① Demandeur(s) : *PICOGIGA SA Société anonyme —  
FR.*

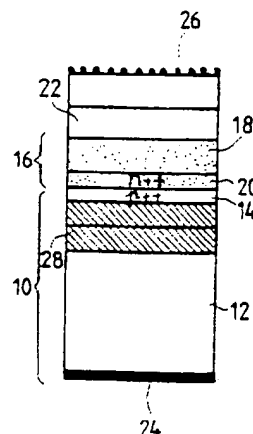
⑦② Inventeur(s) : *NUYEN TRONG LINH et CHATELA-  
NAZ JEAN MARC.*

⑦③ Titulaire(s) :

⑦④ Mandataire(s) : *CABINET BARDEHLE PAGENBERG  
ET PARTNER.*

### ⑤④ STRUCTURE A SEMICONDUCTEURS DE COMPOSANT PHOTOVOLTAÏQUE.

⑤⑦ Cette structure comprend un substrat massif (10), notamment en silicium, et un substrat en couche mince (16) en matériau semiconducteur, notamment un matériau III-V, IV-IV ou II-VI binaire, ternaire ou quaternaire, reporté par un procédé d'implantation ionique en surface de ce substrat massif, au moins une cellule photovoltaïque (22), épitaxiée sur le substrat en couche mince et, de part et d'autre de la structure, des prises de contact (24, 26) au substrat massif et à la cellule épitaxiée. Avantagusement, le substrat massif est en silicium et incorpore une autre cellule photovoltaïque (28). Le matériau du substrat en couche mince est choisi dans le groupe comprenant GaAs, InP, GaInP, Al-GaAs, SiC, SiGe et les alliages II-VI.



FR 2 777 116 - A1



L'invention concerne de façon générale la conversion de l'énergie lumineuse, notamment de l'énergie solaire, en énergie électrique par l'effet photovoltaïque produit dans les semiconducteurs.

Les composants mettant en œuvre cet effet, généralement appelés "cellules solaires", n'utilisent le plus souvent qu'une seule espèce de matériau conducteur, généralement le silicium ou l'arséniure de gallium GaAs.

Les cellules solaires les plus courantes sont réalisées à partir de silicium, dont la bande interdite est de 1,15 eV. Néanmoins, les photons de trop forte énergie, qui représentent une part élevée du spectre solaire hors atmosphère (notamment dans l'hypothèse de cellules solaires pour satellites), ne sont pas absorbés efficacement, et le rendement d'une cellule silicium, dans l'état actuel de l'art, est de l'ordre de 0,148.

Les cellules solaires à base de GaAs, dont la bande interdite est de 1,43 eV, sont en revanche plus efficaces pour la conversion de l'énergie du spectre solaire hors atmosphère, avec un rendement de 0,185, soit un gain de 27 % par rapport au silicium.

Un autre facteur important, dans le cas des cellules pour satellites, est l'incidence des radiations, qui ont tendance à dégrader à la longue les performances des cellules solaires embarquées.

A cet égard, le GaAs est, ici encore, plus performant que le silicium puisque, après cinq années d'utilisation sur un satellite en orbite terrestre basse altitude, le rendement d'une cellule silicium tombe à 0,11 et celui d'une cellule GaAs à 0,16. En fin de vie du satellite, le gain en efficacité du GaAs par rapport au silicium atteint ainsi 46 %.

Un autre avantage des cellules GaAs est la possibilité de réaliser sur la couche de GaAs un empilement de couches épitaxiées de matériaux semiconducteurs dopés autres que GaAs, comme GaInP (voir par exemple le WO-A-93/21661 au nom de Picogiga SA, qui décrit un tel composant photovoltaïque multispectral). Avec deux cellules solaires GaInP/GaAs reliées par jonction tunnel et épitaxiées sur GaAs, on atteint un rendement de 0,257, soit un gain de 38 % par rapport à une cellule GaAs à une seule jonction. En augmentant encore le nombre et la spécificité des cellules vis-à-vis des différentes régions du spectre lumineux, on peut ainsi réaliser des composants à très haut rendement

de conversion photovoltaïque, en empilant un nombre important de cellules solaires d'énergies de bande interdite échelonnées.

Néanmoins, les cellules GaAs présentent plusieurs inconvénients par rapport au silicium :

- 5 — coût du substrat de GaAs, beaucoup plus élevé ; contrairement aux circuits intégrés où un grand nombre de composants peut être réalisé sur une même tranche, répartissant ainsi le coût matière, les cellules solaires sont grandes consommatrices de surfaces de matériau et aucune économie ne peut être réalisée par intégration ;
- 10 — fragilité des substrats de GaAs, qui rend difficile leur utilisation embarquée sur des satellites.
- moindre conductibilité thermique.

Pour remédier à ces inconvénients, on a proposé une structure comportant une couche de GaAs incorporant la cellule solaire proprement dite, épitaxiée sur un substrat de germanium cristallin (le germanium  
15 est un matériau quasiment accordé en paramètre de maille avec GaAs, ce qui permet l'épitaxie).

Cette solution est actuellement celle qui est privilégiée pour l'équipement des satellites en orbite terrestre basse altitude, car elle permet  
20 de s'affranchir de la fragilité et du coût matière du substrat de GaAs.

Toutefois, le coût matière du germanium, bien qu'inférieur à celui du GaAs, est loin d'être négligeable, compte tenu de sa rareté naturelle et des faibles capacités de production actuelles.

De plus et surtout, cette structure est pénalisée par la densité du germanium ( $5,33 \text{ g/cm}^3$ ), du même ordre que celle de GaAs et plus du  
25 double de celle du silicium ( $2,33 \text{ g/cm}^3$ ). Le gain en masse est donc quasiment nul, et cet inconvénient est bien évidemment très pénalisant en matière d'équipements pour satellites.

L'un des but de l'invention est de proposer une structure de composant photovoltaïque qui combine les avantages électriques des cellules  
30 réalisées sur substrat de GaAs et les avantages mécaniques et économiques des cellules silicium.

Essentiellement, la structure de l'invention comprend, en combinaison un substrat massif, notamment en silicium, et un substrat en  
35 couche mince en matériau semiconducteur, notamment un matériau

III-V, IV-IV ou II-VI binaire, ternaire ou quaternaire (typiquement GaAs), reporté par un procédé d'implantation ionique en surface de ce substrat massif.

5 Cette structure de base peut être ensuite pourvue d'au moins une cellule photovoltaïque, épitaxiée sur le substrat en couche mince et, de part et d'autre de la structure, de prises de contact au substrat massif et à la cellule épitaxiée.

Cette structure présente de nombreux avantages :

- 10 — tout d'abord, il est possible de réaliser des cellules solaires sur GaAs, dont les performances sont supérieures à celles des cellules silicium, et au moins égales à celles de cellules GaAs classiques ;
- on bénéficie en outre de la robustesse, de la légèreté et de la conductibilité thermique du silicium ;
- 15 — en particulier, en ce qui concerne le gain de poids, la simple substitution du silicium au germanium pour le substrat support procure un gain de poids direct de l'ordre de 15 kg pour un satellite terrestre de télécommunications en orbite basse, sans compter les gains indirects induits tels que supports mécaniques des panneaux solaires plus légers, moteurs de déploiement moins puissants, etc. ;
- 20 — le substrat silicium/GaAs de l'invention est compatible avec les techniques traditionnelles de réalisation de cellules solaires à base de GaAs ou de silicium, notamment en ce qui concerne les couches antireflets et la prise des contacts électriques.
- on s'affranchit totalement du coût et des difficultés d'approvisionnement du germanium, avec un coût matière final très proche de
- 25 celui du seul silicium.

Avantageusement, le substrat massif est en silicium et incorpore une autre cellule photovoltaïque.

30 La cellule solaire à base de silicium ainsi incorporée au substrat massif peut, grâce à son énergie de bande interdite inférieure à celle de GaAs, récupérer une partie supplémentaire du spectre lumineux d'énergie trop faible pour être absorbée par les cellules à base de GaAs.

Le substrat massif joue ainsi non seulement un rôle mécanique de support du substrat en couche mince, mais également un rôle actif dans  
35 la conversion photovoltaïque, par association de la cellule épitaxiée sur

GaAs avec celle incorporée au substrat silicium. Ceci augmente le rendement du composant par rapport à l'utilisation d'un substrat traditionnel en GaAs ou germanium.

5 L'interface entre le substrat massif et le substrat en couche mince peut être électriquement conductrice, ce qui permet la mise en série des deux cellules.

10 Ce caractère conducteur peut être obtenu de diverses manières : en accolant l'une à l'autre les surfaces en vis-à-vis du substrat massif et du substrat en couche mince, qui comportent chacune des couches fortement dopées propres à former une jonction tunnel à l'interface ; ou en prévoyant entre les surfaces en vis-à-vis du substrat massif et du substrat en couche mince une couche intercalaire en un matériau conducteur tel qu'un composé métallique, notamment un composé d'indium, ou encore un matériau conducteur et optiquement inerte (dans le cas où  
15 le substrat silicium incorpore une cellule solaire) tel qu'un oxyde métallique, notamment un oxyde d'indium dopé étain ou un oxyde d'étain dopé antimoine.

20 En variante, si l'on recherche un rendement maximal, la cellule épitaxiée sur la couche mince de GaAs peut être isolée électriquement de celle incorporée au substrat, ce qui permet d'optimiser le rendement de chacune des cellules. En effet, si les cellules sont couplées en circuit, elles produisent, ensemble, un photocourant nécessairement limité par le plus faible photocourant généré par l'une des cellules. En isolant les cellules, chacune est pourvue d'électrodes propres liées séparément à  
25 des circuits distincts de l'électronique du bloc de charge (qui devra avoir été conçu en conséquence) et il est alors possible d'optimiser le rendement global de conversion d'énergie.

30 Jusqu'à présent cette solution, bien que performante, n'avait pas été retenue industriellement en raison notamment de l'assemblage mécanique délicat des cellules associées, impliquant un collage et une élimination du substrat (coûteux) des cellules rapportées.

Dans le cadre de l'invention, on s'affranchit de cette difficulté en reportant directement une couche mince de GaAs, sur laquelle on fait croître par épitaxie les couches nécessaires à la constitution d'une première cellule, sur le substrat silicium incorporant déjà une deuxième  
35

cellule.

L'isolement peut être obtenu en prévoyant entre les surfaces en vis-à-vis du substrat massif et du substrat en couche mince une couche intercalaire en un matériau diélectrique et optiquement inerte, notamment un oxyde de silicium ou un nitrure de silicium, la structure com-  
5 portant de part et d'autre de cette couche intercalaire des prises enterrées de contact aux couches semiconductrices adjacentes. Avantageusement, il est également prévu une couche de matériau conducteur et optiquement inerte, notamment un oxyde d'indium dopé étain ou un  
10 oxyde d'étain dopé antimoine, en contact avec les prises de contact enterrées.

Selon d'autres caractéristiques préférentielles de l'invention :

- la structure comprend entre le substrat massif et le substrat en couche mince une couche dichroïque propre à réfléchir les photons non absorbés d'énergie supérieure à l'énergie de bande interdite de  
15 la cellule photovoltaïque formée sur le substrat en couche mince, et à laisser passer les photons d'énergie inférieure vers la cellule photovoltaïque formée sur le substrat massif ;
- le matériau semiconducteur III-V ou IV-IV binaire, ternaire ou  
20 quaternaire du substrat en couche mince est choisi dans le groupe comprenant GaAs, InP, GaInP, AlGaAs, SiC, SiGe et les alliages II-VI ;
- le matériau de la cellule photovoltaïque épitaxiée sur le substrat en couche mince est choisi dans le groupe comprenant : GaAs, AlGaAs,  
25 GaInP, AlAsP, AlPSb, GaInAsP, AlGaAsP, InAlAsP ou AlGaPSb sur un substrat en couche mince de GaAs ; InP, GaInAs, GaAsSb, AlInAs, AlAsSb, AlPSb, GaInAsP, InGaAsP, InAlAsP, AlGaPSb ou AlGaAsSb sur un substrat en couche mince d'InP ; AlGaAs, AlInAs, GaInP, AlAsP ou AlPSb sur un substrat en couche mince de GaInP  
30 ou AlGaAs ; et les alliages II-VI sur un substrat en couche mince de matériau II-VI.

Il est également possible de réaliser conformément aux enseignements de l'invention des cellules multispectrales comprenant successivement : un substrat massif, notamment en silicium ; un substrat en  
35 couche mince en matériau semiconducteur, notamment un matériau



- III-V, IV-IV ou II-VI binaire, ternaire ou quaternaire, reporté par un procédé d'implantation ionique en surface de ce substrat massif ; une première cellule photovoltaïque, épitaxiée sur ce premier substrat en couche mince ; au moins un second substrat en couche mince en matériau
- 5 au semiconducteur, notamment un matériau III-V, IV-IV ou II-VI binaire, ternaire ou quaternaire, reporté par un procédé d'implantation ionique en surface de la première cellule photovoltaïque ; et au moins une seconde cellule photovoltaïque, épitaxiée sur ce second substrat en couche mince.
- 10 Le substrat massif peut avantageusement être en silicium et incorporer une troisième cellule photovoltaïque.

◇

- 15 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description détaillée ci-dessous de divers exemples de mise en œuvre, faite en référence aux dessins annexés.

La figure 1 illustre les trois étapes principales d'un processus de réalisation d'un composant selon l'invention avec report direct du substrat en couche mince de GaAs sur le substrat massif silicium.

20

La figure 2 illustre une version perfectionnée du composant de la figure 1, intégrant une seconde cellule dans le substrat silicium.

La figure 3 illustre une variante avec report du substrat en couche mince de GaAs via un composé intermédiaire métallique.

- 25 La figure 4 illustre une variante de la figure 2, avec report du substrat en couche mince de GaAs via un composé conducteur électrique transparent aux rayons lumineux.

La figure 5 illustre les trois étapes principales d'un processus de réalisation d'un composant tel que celui de la figure 2, mais dans lequel les deux cellules sont électriquement indépendantes.

30

La figure 6 illustre une variante du composant de la figure 5, avec à l'interface une couche dichroïque optimisant la transformation photovoltaïque de la première cellule.

- La figure 7 est une autre variante du composant de la figure 5, permettant de réduire la taille des grilles aux prises de contact à l'inter-
- 35

face.

La figure 8 illustre une variante dans laquelle on a renouvelé l'opération de report de substrat en couche mince après épitaxie de la première cellule solaire pour réaliser une seconde cellule solaire. On peut ainsi couvrir une partie plus importante du spectre lumineux et réaliser un composant large spectre à très haut rendement de conversion.

◇

10 Sur la figure 1, on a représenté les différentes étapes de réalisation d'un composant photovoltaïque selon l'invention, dans sa forme de mise en œuvre la plus simple.

Dans une première étape, illustré figure 1a, on produit par des techniques en elles-mêmes classiques un substrat massif 10.

15 Dans cet exemple, le substrat est en silicium, comprenant une couche 12 dopée  $n^+$  et en surface une couche 14 plus fortement dopée  $n^{++}$  pour permettre ultérieurement la réalisation d'une jonction tunnel (voir plus bas).

Ce choix n'est cependant pas limitatif et d'autres matériaux peuvent être envisagés, dès lors que le substrat présente les propriétés mécaniques et de conductivité requises.

On prépare par ailleurs un substrat en couche mince 16, typiquement de GaAs, avec une couche 18 dopée  $n^+$  et en surface une couche 20 plus fortement dopée  $n^{++}$ , pour les mêmes raisons.

25 Un tel substrat en couche mince de GaAs peut être obtenu par exemple par le procédé décrit dans le FR-A-2 681 472, qui enseigne un procédé de report d'une couche mince (environ  $1\ \mu\text{m}$ ) de semiconducteur d'un substrat massif sur un support rigide par implantation ionique.

D'autres procédés de report de couche mince par implantation ionique peuvent être également utilisés, notamment celui décrit dans la demande de brevet US 08/866,951 (1997) aux noms de Q. Y. Tong et U. Gösele.

35 Ces techniques sont applicables à la production de plaques de grand diamètre de 4" (10 cm), 6" (15 cm) ou plus, permettant ainsi de réaliser des cellules solaires à l'échelon industriel.

Par ailleurs, le choix de GaAs pour le substrat en couche mince n'est pas limitatif, et l'on peut prévoir pour ce substrat d'autres composés III-V binaires (tels qu'InP), ternaires (tels que GaInP ou AlGaAs) ou quaternaires, ou encore des composés IV-IV (tels que SiC ou SiGe).

5       Après report du substrat en couche mince GaAs 16 sur le substrat massif silicium 10, on obtient la structure illustrée figure 1b.

Le report est effectué avec "bonding", c'est-à-dire solidarisation, entre silicium et GaAs.

10       Dans un premier temps, juste après le report, l'adhésion à l'interface est une adhésion moléculaire résultant de la simple mise en contact des deux surfaces en vis-à-vis (surfaces qui ont bien entendu fait l'objet d'un traitement approprié afin de présenter la rugosité la plus faible possible), c'est-à-dire par le seul effet de l'interaction de van der Waals.

15       Cette liaison faible peut être avantageusement renforcée par réaction chimique à l'interface, notamment par un recuit. Chacune des couches produit alors sous l'effet de la chaleur de l'hydrogène monoatomique, ces atomes se combinent en formant de l'hydrogène gazeux éliminé par diffusion et laissent subsister des liaisons Si-As entre les couches en vis-à-vis.

D'autres modes de "bonding" sont possibles, par exemple par l'intermédiaire de matériaux électriquement conducteurs (oxydes métalliques) ou, au contraire, diélectriques (ces aspects seront détaillés plus loin, notamment en référence aux figures 3 et 5).

25       L'étape suivante consiste, à partir de la structure de la figure 1b ainsi obtenue, à faire croître sur le substrat en couche mince 18 une cellule photovoltaïque 22 composée d'une ou plusieurs jonctions p-n reliées par des jonctions tunnel. Cette cellule est épitaxiée sur la couche 18 de la même manière qu'elle aurait pu l'être sur un substrat de GaAs massif. La technique employée est classique et ne sera pas décrite plus

30       en détail.

On peut notamment citer comme choix d'alliages III-V binaires, ternaires ou quaternaires épitaxiés sur la couche mince :

— couches GaAs, AlGaAs, GaInP, AlAsP, AlPSb, GaInAsP, AlGaAsP, InAlAsP ou AlGaPSb épitaxiées sur substrat GaAs ;

35

— couches InP, GaInAs, GaAsSb, AlInAs, AlAsSb, AlPSb, GaInAsP, InGaAsP, InAlAsP, AlGaPSb ou AlGaAsSb épitaxiées sur substrat InP ;

— couches AlGaAs, AlInAs, GaInP, AlAsP ou AlPSb épitaxiées sur substrat GaInP ou AlGaAs.

Ces alliages peuvent également être des alliages II-VI, notamment ZnSe, ZnS, CdTe ou HgSe.

Enfin, des contacts 24 et 26 sont déposés de part et d'autre du composant. L'électrode 24 est en contact avec le substrat 10, lui-même en liaison avec le substrat en couche mince GaAs 16 du fait de la présence d'une jonction tunnel entre les couches 14, 20 fortement dopées ; le contact 26, quant à lui, est en contact direct avec la cellule 22 épitaxiée sur le substrat GaAs 16.

Enfin, la cellule peut recevoir en surface divers traitements de finition, tels que traitement antireflets, en eux-mêmes connus et ne faisant pas partie de l'objet de l'invention.

Par ailleurs, bien que dans la suite on fasse référence, pour la couche mince 16, à un "substrat", c'est-à-dire une couche de base sur laquelle seront formés des composants par gravure, épitaxie, etc., cette couche mince 16, au lieu d'être un substrat pur et simple, peut déjà être pourvue au moment du report d'une ou plusieurs jonctions p-n réalisées préalablement sur le substrat par hétéroépitaxie ; dans ce dernier cas, c'est une cellule que l'on reporte directement sur le substrat silicium. En d'autres termes, au lieu de reporter un substrat en couche mince puis d'épitaxier dessus une cellule, on épitaxie d'abord la cellule sur la couche mince, puis on reporte l'ensemble couche mince+cellule sur le substrat massif de silicium.

La figure 2 illustre une variante dans laquelle le substrat massif silicium 10, outre ses rôles de support mécanique et de conducteur électrique, incorpore une autre cellule solaire, référencée 28. La conduction entre la cellule 28 du substrat silicium et la couche 20 de GaAs dopée  $n^{++}$  est obtenue par jonction tunnel, la couche de surface 14 du substrat silicium étant, dans ce cas, dopée  $p^{++}$ , contrairement au cas précédent.

La figure 3 illustre une variante de la structure de la figure 1c dans laquelle le substrat en couche mince de GaAs 16 est solidarisé au subs-

trat massif silicium 10 par l'intermédiaire d'un composé métallique 30, typiquement un composé métallique à base d'indium, qui procure à la fois tenue mécanique ("bonding") et conductivité électrique.

La figure 4 illustre une variante de la structure de la figure 1c dans laquelle le substrat en couche mince de GaAs 16 est mis en contact avec le substrat massif silicium 10 par l'intermédiaire d'un composé optiquement inerte et électriquement conducteur 32. En particulier, des matériaux tels que les oxydes métalliques ITO (*Indium-Tin Oxide*, oxyde d'indium dopé étain), ou encore oxyde d'étain dopé antimoine, permettent d'assurer le contact ohmique et le passage du courant d'une couche semiconductrice à l'autre. Surtout, du fait de leur transparence ils permettent également à la partie du spectre lumineux non convertie en courant électrique par la cellule 22 épitaxiée sur GaAs d'être convertie par la cellule 28 incorporée au substrat silicium.

On peut éventuellement prévoir une grille 34 à la surface de la couche 32, de manière à disposer d'une prise de contact en point milieu entre chacune des deux cellules 22 et 28. Une grille semblable peut être également prévue à l'autre interface de la couche 32 avec le semiconducteur, afin d'optimiser le contact électrique.

On peut par ailleurs avantageusement déposer une couche dichroïque entre le substrat en couche mince 16 et le substrat massif silicium 10, pour ne laisser passer que les photons d'énergie inférieure aux énergies de bandes interdites de la cellule 22, ceci afin d'optimiser la conversion photovoltaïque de cette dernière.

De la même façon, et de manière en elle-même connue, on peut épitaxier sur le substrat en couche mince une pluralité de cellules solaires d'énergies de bande interdite échelonnées, de manière à réaliser un composant large spectre à très haut rendement de conversion.

La figure 5 illustre les étapes successives de réalisation d'un composant incluant deux cellules solaires électriquement indépendantes.

La première étape (figure 5a) consiste à réaliser un substrat massif silicium 10 incorporant une cellule solaire 28, de la même manière que pour la structure de la figure 2.

Après l'épitaxie de la cellule solaire, on dépose sur ce substrat une grille métallique de contact 36, puis un matériau diélectrique optique-

ment inactif tel que  $\text{SiO}_2$  ou  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , que l'on aplanit par polissage.

De la même façon, on dépose sur le substrat GaAs 16 une métallisation 40 puis une couche diélectrique 42 que l'on polit.

Le substrat en couche mince GaAs 16 ainsi préparé est alors reporté sur le substrat massif silicium 10 (figure 5b), et l'on épitaxie une cellule 22 sur le substrat GaAs, de la même manière que dans le cas de la figure 1.

On dépose enfin les contacts d'extrémités 24, 26 (figure 5c). Il y a lieu de prendre soin que la grille supérieure de contact 13 ait une forme identique aux grilles enfouies 38, 40 afin de ne pas générer d'ombres supplémentaires sur la cellule solaire 28 incorporée au substrat silicium, de manière à en optimiser le rendement.

On obtient ainsi une structure comportant un empilement de deux cellules 22, 28 indépendantes, isolées électriquement l'une de l'autre par la couche diélectrique 44, avec chacune des prises de contact propres, respectivement 26, 40 et 24, 38.

En rendant électriquement indépendantes les cellules solaires, on peut optimiser séparément la conversion photovoltaïque. Ici encore, on peut prévoir une couche dichroïque.

La figure 6 illustre une variante du composant de la figure 5, avec à l'interface entre la couche mince de GaAs et le substrat de silicium une couche dichroïque 46 ne laissant passer que les photons d'énergie trop faible pour être absorbés par la cellule 22 et optimisant la transformation photovoltaïque de cette cellule.

La figure 7 illustre une variante avantageuse de la structure de la figure 5c, comprenant une couche d'un matériau conducteur et optiquement inactif (par exemple un oxyde métallique tel qu'un ITO comme indiqué plus haut) en 48 et 50, entre la couche diélectrique 44 et, respectivement, chacune des électrodes enfouies 38, 40. Cette configuration permet une collecte efficace du courant électrique issu des cellules et autorise une réduction de la surface occupée par les grilles de contact, augmentant d'autant la surface illuminée.

La figure 8 illustre la possibilité d'empiler plusieurs films minces et leurs cellules respectives par itération du processus décrit plus haut, avec des matériaux de natures variées, choisis de manière que les éner-

gies de bandes interdites des différentes jonctions aillent en décroissant dans le sens de parcours de la lumière (plus forte énergie de bande interdite en surface), en couvrant ainsi plus largement le spectre des énergies lumineuses. La structure illustrée sur cette figure 8 comporte ainsi successivement (les contacts aux interfaces étant identiques à

5

— substrat massif silicium 10 (couche 12 dopée  $n^+$  et couche 14 fortement dopée  $n^{++}$ ),

10

— couche 32 de matériau optiquement inerte et conducteur électrique (typiquement un ITO),

— premier substrat en couche mince 16, par exemple substrat InP (couche dopée  $n^+$  52 et couche fortement dopée  $n^{++}$  54 à l'interface avec la couche  $n^{++}$  14 du substrat silicium),

15

— première cellule 56, épitaxiée sur InP,

— couche intermédiaire 58 d'un matériau en accord de paramètre de maille avec celui de la cellule 56,

— deuxième couche 32' d'ITO,

— deuxième substrat en couche mince 16', par exemple GaAs avec couches 18 et 20,

20

— deuxième cellule 22 épitaxiée sur GaAs.

Les deux cellules 22 et 56 sont électriquement en série, les prises de connexion étant réalisées par les contacts d'extrémités 24 et 26.

Comme structures avantageuses de cellules, on peut prévoir :

25

— cellule 56 : substrat InP et épitaxie de couches InP, GaInAs, GaAsSb, AlInAs, AlAsSb ou AlPSb, et cellule 22 : substrat GaAs et épitaxie de couches GaAs, AlGaAs, GaInP, AlAsP ou AlPSb ; ou

— cellule 56 : substrat GaAs et épitaxie de couches GaAs, AlGaAs, GaInP, AlAsP ou AlPSb, et cellule 22 : substrat GaInP ou AlGaAs et épitaxie de couches AlGaAs, AlInAs, GaInP, AlAsP ou AlPSb.

30

Dans ce cas, on peut éventuellement prévoir une cellule solaire incorporée au substrat de silicium.

Bien entendu toutes les variantes exposées à l'occasion des figures précédentes sont applicables à cette configuration avec empilement de plusieurs films minces.

## REVENDEICATIONS

1. Une structure à semiconducteurs de composant photovoltaïque, caractérisée en ce qu'elle comprend, en combinaison :

- 5 — un substrat massif (10), notamment en silicium, et
- un substrat en couche mince (16) en matériau semiconducteur, notamment un matériau III-V, IV-IV ou II-VI binaire, ternaire ou quaternaire, reporté par un procédé d'implantation ionique en surface de ce substrat massif.

10

2. La structure de la revendication 1, comprenant en outre :

- au moins une cellule photovoltaïque (22), épitaxiée sur le substrat en couche mince, et
  - de part et d'autre de la structure, des prises de contact (24, 26) au
- 15 substrat massif et à la cellule épitaxiée.

3. La structure de la revendication 1, dans laquelle le substrat massif est en silicium et incorpore une autre cellule photovoltaïque (28).

20

4. La structure de la revendication 1, dans laquelle l'interface entre le substrat massif et le substrat en couche mince est électriquement conductrice.

- 25 5. La structure de la revendication 4, dans laquelle les surfaces en vis-à-vis du substrat massif et du substrat en couche mince sont accolées l'une à l'autre et comportent chacune des couches fortement dopées (14, 20) propres à former une jonction tunnel à ladite interface.

- 30 6. La structure de la revendication 4, comportant entre les surfaces en vis-à-vis du substrat massif et du substrat en couche mince une couche intercalaire (30) en un matériau conducteur.

- 35 7. La structure de la revendication 6, dans laquelle le matériau conducteur de la couche intercalaire (30) est un composé métallique,



notamment un composé d'indium.

8. La structure des revendication 3 et 4 prises en combinaison, comportant entre les surfaces en vis-à-vis du substrat massif et du  
5 substrat en couche mince une couche intercalaire (32) en un matériau conducteur et optiquement inerte.

9. La structure de l'une des revendications 6 et 8, dans laquelle le  
matériau de la couche intercalaire (32) est un oxyde métallique, notam-  
10 ment un oxyde d'indium dopé étain ou un oxyde d'étain dopé antimoine.

10. La structure de la revendication 3, comportant entre les surfa-  
ces en vis-à-vis du substrat massif et du substrat en couche mince une  
couche intercalaire (44) en un matériau diélectrique et optiquement  
15 inerte, notamment un oxyde de silicium ou un nitrure de silicium, et  
comportant en outre de part et d'autre de cette couche intercalaire des  
prises enterrées (38, 40) de contact aux couches semiconductrices adja-  
centes.

20 11. La structure de la revendication 10, comportant en outre, de  
part et d'autre de la couche intercalaire en matériau diélectrique, et en  
contact avec les prises de contact enterrées, une couche (48, 50) de ma-  
tériau conducteur et optiquement inerte, notamment un oxyde d'indium  
dopé étain ou un oxyde d'étain dopé antimoine.

25

12. La structure de la revendication 3, comprenant entre le subs-  
trat massif et le substrat en couche mince une couche dichroïque (46)  
propre à réfléchir les photons non absorbés d'énergie supérieure à l'é-  
nergie de bande interdite de la cellule photovoltaïque formée sur le  
30 substrat en couche mince, et à laisser passer les photons d'énergie infé-  
rieure vers la cellule photovoltaïque formée sur le substrat massif.

13. La structure de la revendication 1, dans laquelle le matériau  
semiconducteur III-V ou IV-IV binaire, ternaire ou quaternaire du  
35 substrat en couche mince (16) est choisi dans le groupe comprenant

GaAs, InP, GaInP, AlGaAs, SiC, SiGe et les alliages II-VI.

14. La structure de la revendication 2, dans laquelle le matériau de la cellule photovoltaïque (22) épitaxiée sur le substrat en couche mince  
5 est choisi dans le groupe comprenant : GaAs, AlGaAs, GaInP, AlAsP, AlPSb, GaInAsP, AlGaAsP, InAlAsP ou AlGaPSb sur un substrat en couche mince de GaAs ; InP, GaInAs, GaAsSb, AlInAs, AlAsSb, AlPSb, GaInAsP, InGaAsP, InAlAsP, AlGaPSb ou AlGaAsSb sur un substrat en couche mince d'InP ; AlGaAs, AlInAs, GaInP, AlAsP ou AlPSb sur  
10 un substrat en couche mince de GaInP ou AlGaAs ; et les alliages II-VI sur un substrat en couche mince de matériau II-VI.

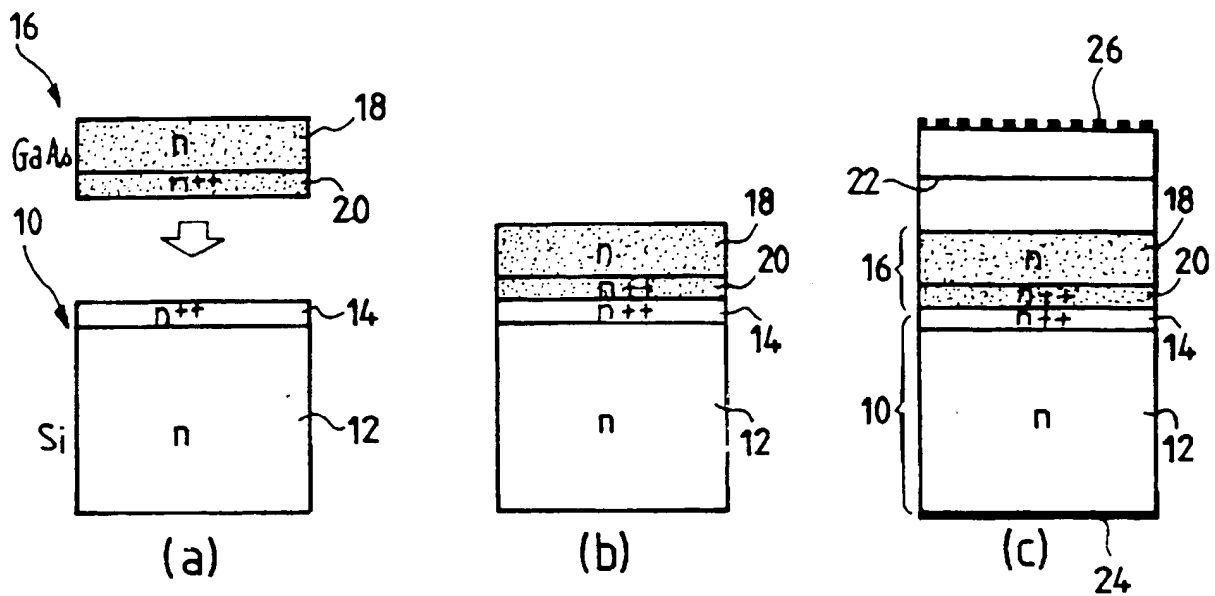
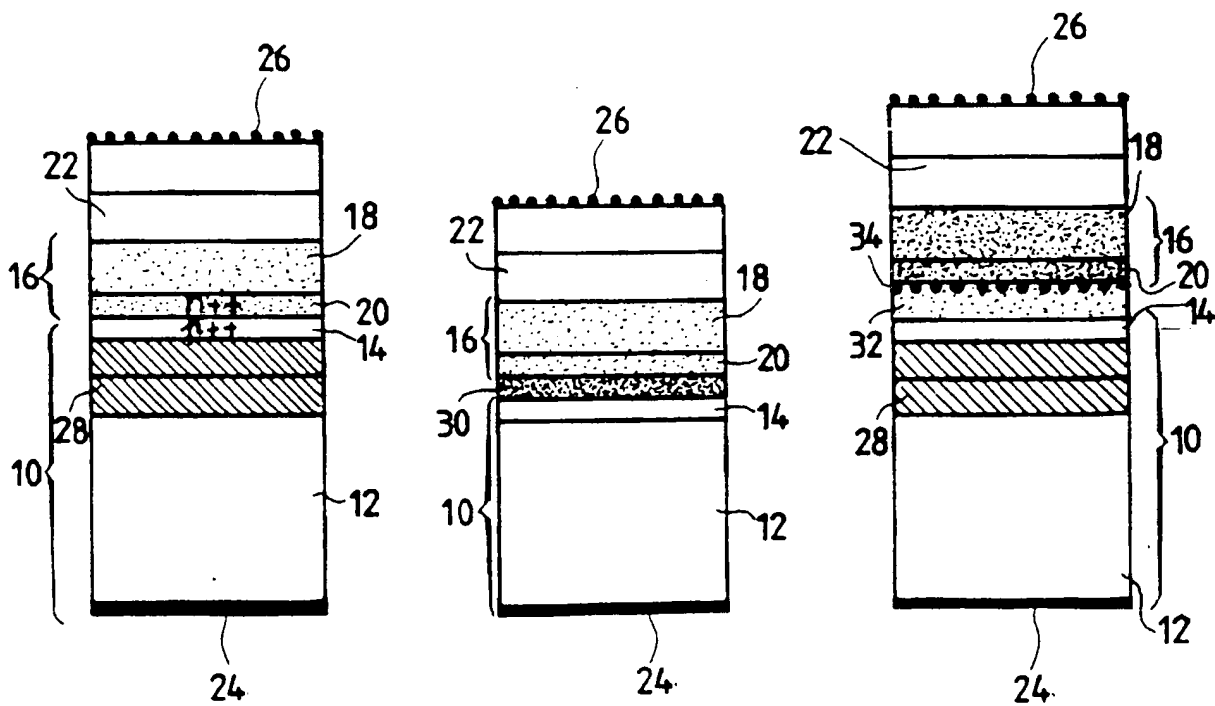
15. La structure de la revendication 2, comprenant successivement :

- 15 — un substrat massif (10), notamment en silicium,
- un substrat en couche mince (16) en matériau semiconducteur, notamment un matériau III-V, IV-IV ou II-VI binaire, ternaire ou quaternaire, reporté par un procédé d'implantation ionique en surface de ce substrat massif,
- 20 — une première cellule photovoltaïque (56), épitaxiée sur ce premier substrat en couche mince,
- au moins un second substrat en couche mince (16') en matériau semiconducteur, notamment un matériau III-V, IV-IV ou II-VI binaire, ternaire ou quaternaire, reporté par un procédé d'implantation  
25 ionique en surface de la première cellule photovoltaïque, et
- au moins une seconde cellule photovoltaïque (22), épitaxiée sur ce second substrat en couche mince.

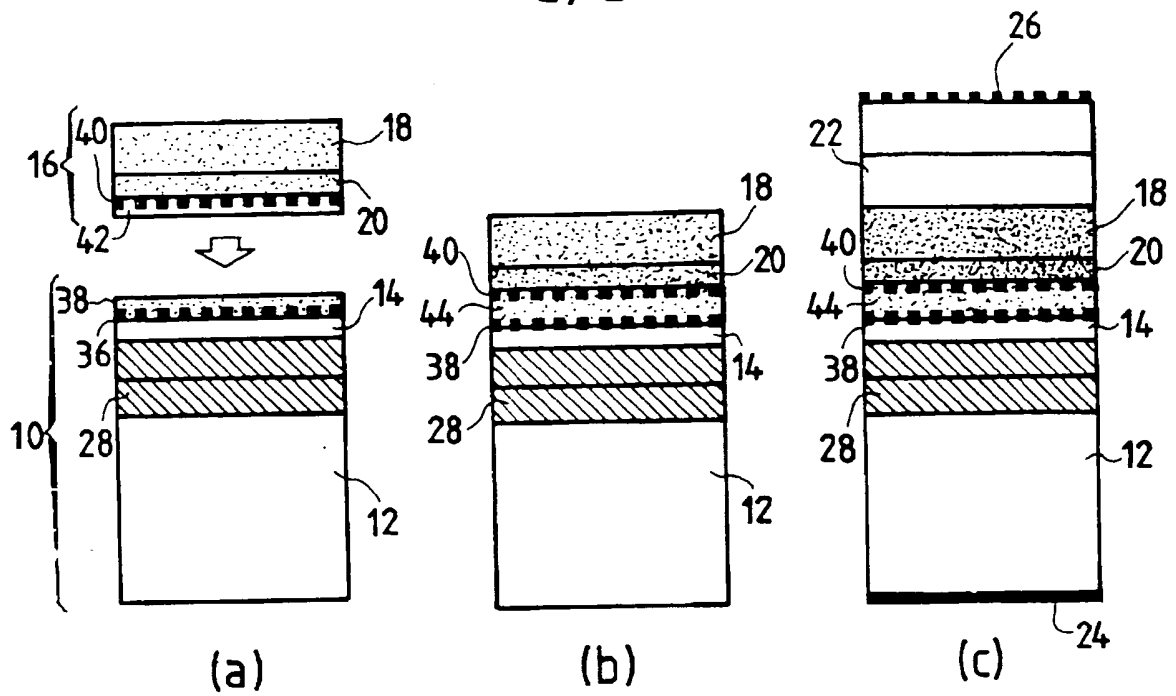
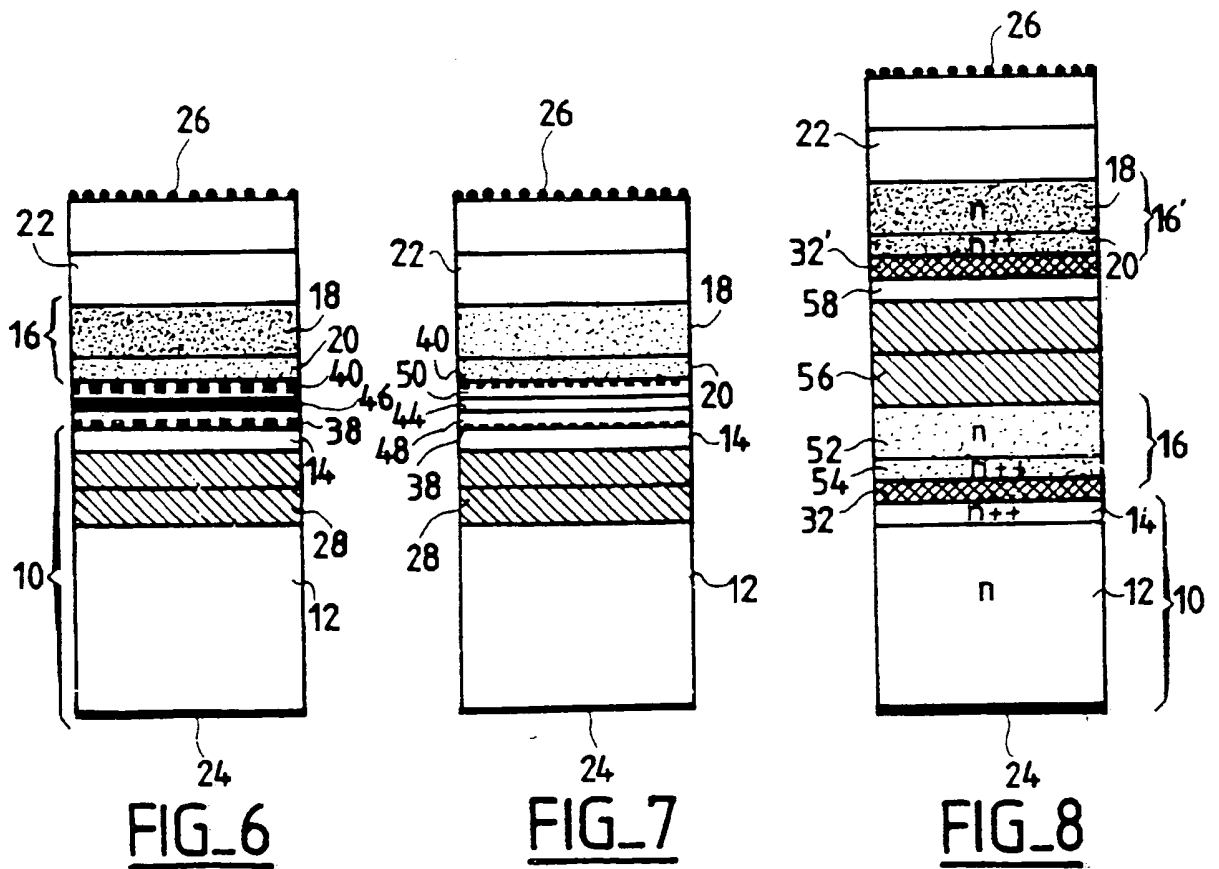
16. La structure de la revendication 15, dans laquelle le substrat  
30 massif est en silicium et incorpore une troisième cellule photovoltaïque (28).

---

1/2

FIG\_1FIG\_2FIG\_3FIG\_4

2/2

FIG. 5

REPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL  
de la  
PROPRIETE INDUSTRIELLE

**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRELIMINAIRE**  
établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement  
national

FA 559976  
FR 9804192

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Categorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
X	LUSH G B ET AL: "THIN-FILM GAAS SOLAR CELLS BY EPITAXIAL LIFT-OFF", PROCEEDINGS OF THE PHOTOVOLTAIC SPECIALISTS CONFERENCE, LOUISVILLE, MAY 10 - 14, 1993, NR. CONF. 23, PAGE(S) 1343 - 1346 , INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS XP002005372 * le document en entier *	1,4,8, 12-14
A	---	2,3
X	WO 93 21662 A (PICO GIGA SA ; NUYEN LINH T (FR)) 28 octobre 1993 * page 5, ligne 1 - page 10, ligne 33; revendications 1-8; figures 1-4 *	1-4,6,8, 10,12-14
X	EP 0 193 830 A (MASSACHUSETTS INST TECHNOLOGY) 10 septembre 1986 * page 43, ligne 12-32 * * page 52, ligne 5 - page 55, ligne 26; revendications 1-14; figures 42,47,48 *	1-4,6-9, 13-16
A	US 5 024 723 A (GOESELE ULRICH M ET AL) 18 juin 1991 * le document en entier *	1,3,10
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 098, no. 004, 31 mars 1998 & JP 09 331077 A (ION KOGAKU KENKYUSHO:KK), 22 décembre 1997 * abrégé *	1
A,D	FR 2 681 472 A (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE) 19 mars 1993	
A,D	WO 93 21661 A (PICO GIGA SA ; NUYEN LINH T (FR)) 28 octobre 1993	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur
9 décembre 1998		Visentin, A
<p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons &amp; : membre de la même famille, document correspondant</p>		

1

EPO FORM 1503 03 82 (P04C13)

